

СЕКЦИЯ 3. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ, КЕРАМИЧЕСКИЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 669.7.018

А. Ю. Чудинов, А. Д. Новокрещенова, Д. В. Гадеев*, А. Г. Илларионов**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

d.v.gadeev@urfu.ru*, *a.g.illarionov@urfu.ru*

Научные руководители: доц., канд. техн. наук *А. Г. Илларионов*, доц., канд. техн. наук *Д. В. Гадеев*

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

В работе методом гидростатического взвешивания показано изменение плотности в двухфазном титановом сплаве типа VST2 различного химического состава. Установлено, что величина плотности в сплаве закономерным образом связана с легированием через соотношение в нем содержания α -стабилизатора (алюминия) и суммарной концентрации β -стабилизирующих элементов.

Ключевые слова: плотность, титановые сплавы, легирование.

A. Yu. Chudinov, A. D. Novokreshhenova, D. V. Gadeev, A. G. Illarionov

THE EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION ON THE DENSITY OF THE TITANIUM ALLOY

By hydrostatic weighing technique the effect of alloying elements on density of two-phase titanium alloy was studied. It has been established that the density of the alloy is connected with the chemical composition in terms of a ratio of aluminum and total β -stabilizers content.

Keywords: density, titanium alloys, alloying, doping.

Одной из основных физических характеристик сплава является плотность, которая влияет на ряд важных его характеристик, например, удельную прочность или жесткость. Плотность сплава зависит, в первую очередь, от его химического состава. В работе проведено определение плотности многофункционального титанового сплава типа VST2 с целью оценить влияние на данную характеристику его химического состава.

В качестве материала для исследования использовали листовые полуфабрикаты толщиной 2 мм из сплава типа VST2 системы Ti–Al–V–Mo–Fe–Cr–Ni шести разных химических составов (в тексте обозначены как сплавы 1, 2, 3, 4, 5, 6), полученные на ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». В качестве параметров учета легирования изучаемых сплавов

α - и β -стабилизаторами использовали содержание в них алюминия и суммарное содержание β -стабилизаторов ($\Sigma \beta$ -стабилизаторов), которые приведены в табл. 1.

Из данных таблицы следует, что в изученной группе сплавов суммарное содержание β -стабилизаторов увеличивается от сплава 1 к сплаву 6 примерно в 1,4 раза, а содержание алюминия сопоставимо в сплавах со 2-го по 6-й и несколько ниже в сплаве 1.

Таблица 1

Данные по химическому составу исследованных сплавов типа VST2

| Показатели | Сплав | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Содержание Al в сплаве, ат. % | 7,44 | 9,52 | 9,22 | 9,12 | 8,97 | 9,14 |
| $\Sigma \beta$ -стабилизаторов в сплаве, ат. % | 4,55 | 5,34 | 5,66 | 5,82 | 5,93 | 6,21 |

Плотность сплавов определяли методом гидростатического взвешивания [1] с использованием поверенных весов *Sartorius LE225D* со встроенным прикладным компьютером *IAC*, который после последовательного взвешивания образца на воздухе и в жидкости производит полный расчет результатов по прикладной программе. При этом автоматически учитываются все необходимые поправки (например, температурный коэффициент расширения жидкости и др.). В энергонезависимой памяти содержатся таблицы плотностей дистиллированной воды и этанола в зависимости от температуры. При расчете плотности учтена выталкивающая сила, действующая на подвес в жидкости и на образец на воздухе. Результаты измерений представлены далее.

Таблица 2

Плотность исследованных сплавов (ρ , кг/м³) типа VST2, определенная методом гидростатического взвешивания

| Плотность | Сплав | | | | | |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ρ , кг/м ³ | 4456 | 4452 | 4465 | 4458 | 4466 | 4468 |

Анализ полученных значений плотности показал, что сплавы 1–6 имеют плотность ниже плотности титана, равной 4540 кг/м³ [3, с. 194]. Это вполне закономерно, так как количество в атомных процентах основного α -стабилизатора в сплаве алюминия, имеющего меньший атомный вес, чем

титан (26,98 против 47,9), больше, чем всех вводимых β -стабилизаторов, имеющих больший по сравнению с титаном атомный вес (50,94 – V; 51,996 – Cr; 55,847 – Fe; 58,71 – Ni; 95,94 – Mo) – см. табл. 1. При этом минимальную плотность имеет сплав 2 с максимальным среди всех сплавов содержанием алюминия (табл. 1), затем идет сплав 1 с минимальным общим содержанием β -стабилизаторов, а следующим – сплав 4 с минимальным среди исследованных сплавов содержанием (менее 0,003 %) самого тяжелого β -стабилизатора – молибдена. Далее плотность увеличивается от сплава 3 к 5 и 6 в соответствии с повышением в них суммарного содержания β -стабилизаторов при сопоставимом содержании в них алюминия (табл. 1).

Таким образом, установлено, что изменение плотности в титановом сплаве типа VST2 зависит от соотношения введенных в него α -стабилизатора алюминия, снижающего плотность титана, и β -стабилизаторов (V, Mo, Fe, Cr, Ni), повышающих плотность титана. В случае введения β -стабилизаторов наиболее сильно влияет содержание молибдена – самого тяжелого из вводимых легирующих элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006, в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 11.1465.2014/К.

1. ГОСТ 15139–69. Методы определения плотности (объемной массы) : введен 1970-07-01. М. : Издательство стандартов, 1981. 18 с.